

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Затверджено
Вченою радою
Запорізького національного університету
протокол № 2 від 28.09.2022 р.
Голови Вченої ради, ректор
 М. О. Фролов



ГОМОГЕНІЗАЦІЯ НЕОДНОРІДНИХ МАТЕРІАЛІВ

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
ступеня доктора філософії

Укладач:

Гребенюк С. М., завідувач кафедри фундаментальної та прикладної математики, доктор
технічних наук, професор

Погоджено:

Проректор з наукової роботи

Проректор з науково-педагогічної роботи

Зав. відділу аспірантури і докторантури

Г. М. Васильчук

Ю. О. Каганов

О. П. Єфіменкова

Запоріжжя 2022

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Найменування показників | Галузь знань, напрям підготовки, рівень вищої освіти | Характеристика навчальної дисципліни |
|---|--|---------------------------------------|
| | | Денна, вечірня, заочна форми навчання |
| Кількість кредитів – 4 | Галузь знань 11 Математика та статистика | вибіркова |
| Змістових модулів – 6 | Спеціальність 113 Прикладна математика | Цикл професійної підготовки |
| Загальна кількість годин – 120 | | Рік підготовки: |
| | | 2-й |
| | | Лекції 32 год. |
| Освітньо-наукова програма Прикладна математика | | Практичні 0 год. |
| Рівень вищої освіти: третій (доктор філософії) | | Самостійна робота 88 год. |
| | | Вид підсумкового контролю: залік |

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни «Гомогенізація неоднорідних матеріалів» є ознайомлення аспірантів з теоретичними основами та підходами до моделювання неоднорідних матеріалів однорідними, що надає можливості застосування набутих знань у якості інструменту для розв'язання конкретних прикладних задач.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Гомогенізація неоднорідних матеріалів» є формування у аспірантів цілісної системи знань та навичок щодо теорії та практики побудови математичних моделей неоднорідного матеріалу та отримання на їх основі ефективних механічних характеристик для застосування у задачах прикладної математики.

Вивчення аспірантами дисципліни «Гомогенізація неоднорідних матеріалів» ґрунтується на ознайомленні їх з дисципліною «Математичне моделювання складних систем».

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти повинні досягти таких програмних компетентностей і програмних результатів навчання:

| Програмні компетентності | |
|--------------------------------------|---|
| ЗК 1 | Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу нових та комплексних ідей |
| ЗК 2 | Здатність вчитися, оволодівати сучасними знаннями, застосовувати їх у практичних ситуаціях |
| ЗК 4 | Здатність до критичного мислення |
| ЗК 6 | Здатність до пошуку, оброблення та аналізу наукової інформації з різних джерел; використання інформаційно-комунікаційних технологій у дослідницькій та викладацькій діяльності |
| СК1 | Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності |
| СК3 | Здатність до оволодіння методологією та методами наукових досліджень у галузі 11 Математика та статистика |
| СК4 | Здатність вдосконалювати існуючі методи та підходи до математичного та комп'ютерного моделювання природних та технічних систем та процесів |
| СК5 | Здатність до планування і виконання комп'ютерного експерименту та управління ним. |
| СК6 | Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності. |
| СК7 | Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері прикладної математики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень. |
| СК8 | Здатність розробляти підходи до математичного моделювання у різних сферах та створювати відповідне програмне забезпечення. |
| СК9 | Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем у галузі прикладної математики, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів наукової діяльності в галузі прикладної математики. |
| СК10 | Здатність інтегрувати знання з інших дисциплін, застосовувати системний підхід при розв'язанні інженерних задач та проведенні досліджень. |
| Програмні результати навчання | |
| ПРН 1 | Демонструвати системний науковий світогляд та загальний культурний кругозір; володіти техніками і технологіями критичного мислення |
| ПРН 7 | Оволодівати сучасними знаннями та застосовувати їх у практичній діяльності; здійснювати абстрактний аналіз, оцінку і синтез нових та комплексних ідей; демонструвати відданість їх розвитку у передових контекстах професійної та наукової діяльності |
| ПРН 11 | Здійснювати пошук, оброблення та аналіз наукової інформації, її систематизацію та узагальнення; використовувати інформаційно-комунікаційні технології у дослідницькій та викладацькій діяльності |

| | |
|--------|---|
| ПРН 19 | Володіти методологією, методами та термінологічним апаратом наукового дослідження у галузі математики та статистики |
| ПРН 20 | Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані. |
| ПРН 21 | Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у прикладній математиці та дотичних міждисциплінарних напрямках. |
| ПРН 22 | Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи. |
| ПРН 23 | Розробляти математичні моделі об'єктів, явищ та процесів у різних сферах. |
| ПРН 24 | Застосовувати сучасні аналітичні та чисельні методи розв'язання крайових та початкових задач при математичному моделюванні процесів та явищ. |
| ПРН 25 | Самостійно проводити обчислювальні експерименти та застосовувати дослідницькі навички. |

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. *Математичні моделі пористого матеріалу*

Тема 1. Математичні моделі пористого матеріалу на основі методу самоузгодження. Основні види неоднорідних матеріалів: пористі та композиційні матеріали. Аналітичні та чисельні методи гомогенізації неоднорідних матеріалів. Ефективні пружні сталі пористого матеріалу на основі методу самоузгодження.

Тема 2. Ефективні пружні сталі пористого матеріалу. Застосування аналітичних та чисельних методів до гомогенізації пористих матеріалів. Ефективні пружні сталі пористого матеріалу для різної форми пористих включень.

Змістовий модуль 2. *Математичні моделі композиту із ізотропними компонентами*

Тема 3. Гомогенізація волокнистого композиту із ізотропними компонентами. Представницький об'ємний елемент для волокнистого композиційного елемента. Основні співвідношення теорії пружності для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне деформування ізотропних матриці та волокна.

Тема 4. Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із ізотропними компонентами. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективний поєздовжній модуль пружності для волокнистого композиту із ізотропними компонентами.

Змістовий модуль 3. Ефективні пружні сталі композиту із трансропними компонентами

Тема 5. Гомогенізація волокнистого композиту із трансропними компонентами при лінійних деформаціях. Представницький об'ємний елемент для волокнистого композиційного елемента. Основні співвідношення теорії пружності трансропного матеріалу для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне лінійне деформування трансропних матриці та волокна.

Тема 6. Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із трансропними компонентами при лінійних деформаціях. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективний поєздовжній модуль пружності для волокнистого композиту із трансропними компонентами.

Тема 7. Гомогенізація волокнистого композиту із трансропними компонентами при зсувних деформаціях. Представницький об'ємний елемент для волокнистого композиційного елемента. Основні співвідношення теорії пружності трансропного матеріалу при зсувних деформаціях. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне зсувне деформування трансропних матриці та волокна.

Тема 8. Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із трансропними компонентами при зсувних деформаціях. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при поєздовжньому зсуві для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективний модуль зсуву для волокнистого композиту із трансропними компонентами.

Змістовий модуль 4. Ефективні механічні характеристики композиту з в'язкопружними компонентами

Тема 9. Гомогенізація волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при лінійних деформаціях. Основні співвідношення теорії

в'язкопружності трансропного матеріалу для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне лінійне деформування ізотропної в'язкопружної матриці та пружного трансропного волокна.

Тема 10. Ефективні механічні характеристики волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при лінійних деформаціях. Постановка задачі в'язкопружності для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективні лінійні в'язкопружні характеристики для волокнистого композиту із трансропними компонентами.

Тема 11. Гомогенізація волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при зсувних деформаціях. Представницький об'ємний елемент для волокнистого композиційного елемента. Основні співвідношення теорії в'язкопружності для трансропного матеріалу при зсувних деформаціях. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне зсувне деформування ізотропної в'язкопружної матриці та пружного трансропного волокна.

Тема 12. Ефективні механічні характеристики волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при зсувних деформаціях. Постановка задачі в'язкопружності для представницького об'ємного елемента при поздовжньому зсуві для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективні зсувні в'язкопружні характеристики для волокнистого композиту із трансропними компонентами.

Змістовий модуль 5. Ефективні термомеханічні характеристики композиту з ізотропними компонентами

Тема 13. Гомогенізація волокнистого композиту в умовах температурного навантаження. Основні співвідношення теорії термопружності для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при температурному навантаженні. Сумісне деформування ізотропних матриці та волокна в умовах температурного навантаження.

Тема 14. Ефективні термопружні сталі волокнистого композиту. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента в умовах температурного навантаження. Умови узгодження. Ефективні температурні коефіцієнти лінійного розширення для волокнистого композиту з ізотропними компонентами.

Змістовий модуль 6. Ефективні пружні сталі композиту з порожнистими волокнами

Тема 15. Гомогенізація композиту з порожнистими волокнами. Представницький об'ємний елемент для композиційного елемента з порожнистим волокном. Основні співвідношення теорії пружності для вісесиметричної області. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні. Сумісне деформування ізотропних матриці та порожнистого волокна.

Тема 16. Ефективні пружні сталі композиту з порожнистими волокнами. Постановка задачі для представницького об'ємного елемента при лінійному осьовому розтягненні для гомогенізованого матеріалу. Умови узгодження. Ефективний повздовжній модуль пружності для композиту із порожнистим волокном.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Назви тематичних розділів і тем | Кількість годин | | | |
|---|-----------------|--------------|--------|-----------|
| | усьо го | у тому числі | | |
| | | л. | практ. | сам. роб. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Змістовий модуль 1. Математичні моделі пористого матеріалу | | | | |
| Тема 1. Математичні моделі пористого матеріалу на основі методу самоузгодження | 7 | 2 | - | 5 |
| Тема 2. Ефективні пружні сталі пористого матеріалу | 7 | 2 | - | 5 |
| Разом за змістовим модулем 1 | 14 | 4 | - | 10 |
| Змістовий модуль 2. Математичні моделі композиту із ізотропними компонентами | | | | |
| Тема 3. Гомогенізація волокнистого композиту із ізотропними компонентами | 7 | 2 | - | 5 |
| Тема 4. Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із ізотропними компонентами | 7 | 2 | - | 5 |
| Разом за змістовим модулем 2 | 14 | 4 | - | 10 |

| Змістовий модуль 3. Ефективні пружні сталі композиту із транстропними компонентами | | | | |
|--|----|---|---|----|
| Тема 5. Гомогенізація волокнистого композиту із транстропними компонентами при лінійних деформаціях | 9 | 2 | - | 7 |
| Тема 6. Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із транстропними компонентами при лінійних деформаціях | 9 | 2 | - | 7 |
| Тема 7. Гомогенізація волокнистого композиту із транстропними компонентами при зсувних деформаціях | 7 | 2 | - | 5 |
| Тема 8. Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із транстропними компонентами при зсувних деформаціях | 7 | 2 | - | 5 |
| Разом за змістовим модулем 3 | 32 | 8 | - | 24 |
| Змістовий модуль 4. Ефективні механічні характеристики композиту з в'язкопружними компонентами | | | | |
| Тема 9. Гомогенізація волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при лінійних деформаціях | 9 | 2 | - | 7 |
| Тема 10. Ефективні механічні характеристики волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при лінійних деформаціях | 9 | 2 | - | 7 |
| Тема 11. Гомогенізація волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при зсувних деформаціях | 7 | 2 | - | 5 |
| Тема 12. Ефективні механічні характеристики волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при зсувних деформаціях | 7 | 2 | - | 5 |

| | | | | |
|---|-----|----|---|----|
| Разом за змістовим модулем 4 | 32 | 8 | - | 24 |
| Змістовий модуль 5. Ефективні термомеханічні характеристики композиту з ізотропними компонентами | | | | |
| Тема 13. Гомогенізація волокнистого композиту в умовах температурного навантаження | 7 | 2 | - | 5 |
| Тема 14. Ефективні термопружні сталі волокнистого композиту | 7 | 2 | - | 5 |
| Разом за змістовим модулем 5 | 14 | 4 | - | 10 |
| Змістовий модуль 6. Ефективні пружні сталі композиту з порожнистими волокнами | | | | |
| Тема 15. Гомогенізація композиту з порожнистими волокнами | 7 | 2 | - | 5 |
| Тема 16. Ефективні пружні сталі композиту з порожнистими волокнами | 7 | 2 | - | 5 |
| Разом за змістовим модулем 6 | 14 | 4 | - | 10 |
| Усього годин | 120 | 32 | - | 88 |

5. ТЕМИ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

| № теми | Назва теми | Кіл-ть годин |
|---|---|--------------|
| Змістовий модуль 1. Математичні моделі пористого матеріалу | | |
| 1 | Математичні моделі пористого матеріалу на основі методу самоузгодження | 2 |
| 2 | Ефективні пружні сталі пористого матеріалу | 2 |
| | Разом за змістовим модулем 1 | 4 |
| Змістовий модуль 2. Математичні моделі композиту із ізотропними компонентами | | |
| 3 | Гомогенізація волокнистого композиту із ізотропними компонентами | 2 |
| 4 | Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із ізотропними компонентами | 2 |
| | Разом за змістовим модулем 2 | 4 |
| Змістовий модуль 3. Ефективні пружні сталі композиту із транітропними компонентами | | |
| 5 | Гомогенізація волокнистого композиту із транітропними компонентами при лінійних деформаціях | 2 |

| | | |
|---|---|----|
| 6 | Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із транстропними компонентами при лінійних деформаціях | 2 |
| 7 | Гомогенізація волокнистого композиту із транстропними компонентами при зсувних деформаціях | 2 |
| 8 | Ефективні пружні сталі волокнистого композиту із транстропними компонентами при зсувних деформаціях | 2 |
| | Разом за змістовим модулем 3 | 8 |
| Змістовий модуль 4. Ефективні механічні характеристики композиту з в'язкопружними компонентами | | |
| 9 | Гомогенізація волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при лінійних деформаціях | 2 |
| 10 | Ефективні механічні характеристики волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при лінійних деформаціях | 2 |
| 11 | Гомогенізація волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при зсувних деформаціях | 2 |
| 12 | Ефективні механічні характеристики волокнистого композиту із в'язкопружними компонентами при зсувних деформаціях | 2 |
| | Разом за змістовим модулем 4 | 8 |
| Змістовий модуль 5. Ефективні термомеханічні характеристики композиту з ізотропними компонентами | | |
| 13 | Гомогенізація волокнистого композиту в умовах температурного навантаження | 2 |
| 14 | Ефективні термопружні сталі волокнистого композиту | 2 |
| | Разом за змістовим модулем 5 | 4 |
| Змістовий модуль 6. Ефективні пружні сталі композиту з порожнистими волокнами | | |
| 15 | Гомогенізація композиту з порожнистими волокнами | 2 |
| 16 | Ефективні пружні сталі композиту з порожнистими волокнами | 2 |
| | Разом за змістовим модулем 6 | 4 |
| Усього годин | | 32 |

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

| № теми | Назва теми | Кіл-ть годин |
|---|--|--------------|
| Змістовий модуль 1. Математичні моделі пористого матеріалу | | |
| 1 | Вплив форми та об'ємного вмісту пор на величину ефективних механічних характеристик пористого матеріалу | 5 |
| 2 | Порівняльний аналіз аналітичних залежностей для ефективних пружних сталих пористого матеріалу | 5 |
| | Разом за змістовим модулем 1 | 10 |
| Змістовий модуль 2. Математичні моделі композиту із ізотропними компонентами | | |
| 3 | Деформування волокнистого композиту з ізотропними компонентами у випадку частинних значень його характеристик | 5 |
| 4 | Вплив об'ємного вмісту волокна на величину ефективних механічних характеристик волокнистого композиту | 5 |
| | Разом за змістовим модулем 2 | 10 |
| Змістовий модуль 3. Ефективні пружні сталі композиту із транітропними компонентами | | |
| 5 | Деформування волокнистого композиту з транітропними компонентами у випадку частинних значень його характеристик при лінійних деформаціях | 7 |
| 6 | Вплив об'ємного вмісту волокна та анізотропії властивостей на ефективні механічні характеристики волокнистого композиту при лінійних деформаціях | 7 |
| 7 | Деформування волокнистого композиту з транітропними компонентами у випадку частинних значень його характеристик при зсувних деформаціях | 5 |
| 8 | Вплив об'ємного вмісту волокна та анізотропії властивостей на ефективні механічні характеристики волокнистого композиту при зсувних деформаціях | 5 |
| | Разом за змістовим модулем 3 | 24 |
| Змістовий модуль 4. Ефективні механічні характеристики композиту з в'язкопружними компонентами | | |
| 9 | Деформування в'язкопружного волокнистого композиту з різними реологічними властивостями при лінійних | 7 |

| | | |
|---|--|----|
| | деформаціях | |
| 10 | Вплив об'ємного вмісту волокна та реологічних властивостей на ефективні механічні характеристики волокнистого композиту при лінійних деформаціях | 7 |
| 11 | Деформування в'язкопружного волокнистого композиту з різними реологічними властивостями при зсувних деформаціях | 5 |
| 12 | Вплив об'ємного вмісту волокна та реологічних властивостей на ефективні механічні характеристики волокнистого композиту при зсувних деформаціях | 5 |
| | Разом за змістовим модулем 4 | 24 |
| Змістовий модуль 5. Ефективні термомеханічні характеристики композиту з ізотропними компонентами | | |
| 13 | Термомеханічна поведінка волокнистого композиту у випадку частинних значень його характеристик | 5 |
| 14 | Вплив об'ємного вмісту волокна на величину ефективних термомеханічних характеристик волокнистого композиту | 5 |
| | Разом за змістовим модулем 5 | 10 |
| Змістовий модуль 6. Ефективні пружні сталі композиту з порожнистими волокнами | | |
| 15 | Деформування композиційного матеріалу з порожнистими волокнами у випадку частинних значень його характеристик | 5 |
| 16 | Вплив об'ємного вмісту волокна та порожнини у ньому на величину ефективних механічних характеристик волокнистого композиту | 5 |
| | Разом за змістовим модулем 6 | 10 |
| Усього годин | | 88 |

7. ВИДИ КОНТРОЛЮ І СИСТЕМА НАКОПИЧЕННЯ БАЛІВ

| № змістово го моду ля | Вид контролю | Кіл- ть балів |
|--------------------------------|--|---------------------|
| ПОТОЧНИЙ | | |
| 1 | Теоретичне опитування | 5 |
| | Перевірка практичного виконання самостійної роботи | 5 |
| 2 | Теоретичне опитування | 5 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| | Перевірка практичного виконання самостійної роботи | 5 |
| 3 | Теоретичне опитування | 5 |
| | Перевірка практичного виконання самостійної роботи | 5 |
| 4 | Теоретичне опитування | 5 |
| | Перевірка практичного виконання самостійної роботи | 5 |
| 5 | Теоретичне опитування | 5 |
| | Перевірка практичного виконання самостійної роботи | 5 |
| 6 | Теоретичне опитування | 5 |
| | Перевірка практичного виконання самостійної роботи | 5 |
| | Разом: | 60 |
| ПІДСУМКОВИЙ | | |
| | Індивідуальне завдання | 20 |
| | Залік | 20 |
| | Усього | 100 |

Шкала оцінювання: національна та ECTS

| <i>За шкалою ECTS</i> | <i>За шкалою університету</i> | <i>За національною шкалою</i> |
|---------------------------|--|---------------------------------------|
| A | 90 – 100 (відмінно) | 5 (відмінно) |
| B | 85 – 89 (дуже добре) | 4 (добре) |
| C | 75 – 84 (добре) | |
| D | 70 – 74 (задовільно) | 3 (задовільно) |
| E | 60 – 69 (достатньо) | |
| FX | 35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання) | 2 (незадовільно) |
| F | 1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом) | |

8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

До змістового модуля 1

1. Смолянкова Т.М. Математичне моделювання механічних характеристик волокнистих композитів із різномодульними компонентами. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика. Запорізький національний університет, Запоріжжя, 2021. 133 с. URL: http://phd.znu.edu.ua/page//PhD/smolyankova/disertats_ya_smolyankova.pdf
2. Coussy O. Poromechanics. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 298 p.
3. De Boer R. Theory of Porous Media: Highlights in the historical development and current state. Berlin – Heidelberg: Springer, 2000. 625 p.
4. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13023>

До змістового модуля 2

1. Богуславська А. М. Термомеханічні характеристики волокнистого композиційного матеріалу з анізотропними компонентами. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 «Механіка деформівного твердого тіла» (01 – фізико-математичні науки). Запорізький національний університет Міністерства освіти і науки України, Запоріжжя, 2018. 133 с. URL: http://phd.znu.edu.ua/page/dis/06_2018/Boguslavska_dis.pdf
2. Гребенюк С.М., Гоменюк С.І., Клименко М.І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
3. Клименко М.І., Гребенюк С.М., Гоменюк С.І. Ефективні механічні характеристики в'язкопружних композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 300 с.
4. Столярова А. В. Гомогенізація композиційного матеріалу з порожнистими трансформними волокнами. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика». Запорізький національний університет, Запоріжжя, 2021. 138 с. URL: http://phd.znu.edu.ua/page//PhD/stolyarova/3_disertats_ya_stolyarova.pdf
5. Aboudi J., Arnold S.M., Bednarczyk V.A. Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012. 1006 p.
6. Dvorak G. Micromechanics of Composite Materials. New York-London: Springer, 2013. 442 p.
7. Kwon Y.W., Allen D.H., Talreja R. Multiscale Modeling and Simulation of Composite Materials and Structures. New York: Springer, 2007. 630 p.

8. Tang T. Variational Asymptotic Micromechanics Modeling of Composite Materials. Logan: Utah State University, 2008. 280 p.
9. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13023>

До змістового модуля 3

1. Богуславська А. М. Термомеханічні характеристики волокнистого композиційного матеріалу з анізотропними компонентами. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 «Механіка деформівного твердого тіла» (01 – фізико-математичні науки). Запорізький національний університет Міністерства освіти і науки України, Запоріжжя, 2018. 133 с. URL: http://phd.znu.edu.ua/page/dis/06_2018/Boguslavska_dis.pdf
2. Гребенюк С.М., Гоменюк С.І., Клименко М.І. Напружено-деформований стан просторових конструкцій на основі гомогенізації волокнистих композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 350 с.
3. Клименко М.І., Гребенюк С.М., Гоменюк С.І. Ефективні механічні характеристики в'язкопружних композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 300 с.
4. Столярова А. В. Гомогенізація композиційного матеріалу з порожнистими трансформними волокнами. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика». Запорізький національний університет, Запоріжжя, 2021. 138 с. URL: http://phd.znu.edu.ua/page//PhD/stolyarova/3_disertats_ ya_stolyarova.pdf
5. Aboudi J., Arnold S.M., Bednarczyk B.A. Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012. 1006 p.
6. Tang T. Variational Asymptotic Micromechanics Modeling of Composite Materials. Logan: Utah State University, 2008. 280 p.
7. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13023>

До змістового модуля 4

1. Клименко М.І., Гребенюк С.М., Гоменюк С.І. Ефективні механічні характеристики в'язкопружних композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 300 с.
2. Tang T. Variational Asymptotic Micromechanics Modeling of Composite Materials. Logan: Utah State University, 2008. 280 p.
3. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13023>

До змістового модуля 5

1. Богуславська А. М. Термомеханічні характеристики волокнистого композиційного матеріалу з анізотропними компонентами. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 «Механіка деформівного твердого тіла» (01 – фізико-математичні науки). Запорізький національний університет Міністерства освіти і науки України, Запоріжжя, 2018. 133 с. URL: http://phd.znu.edu.ua/page/dis/06_2018/Boguslavska_dis.pdf
2. Клименко М.І., Гребенюк С.М., Гоменюк С.І. Ефективні механічні характеристики в'язкопружних композитів. Херсон: Гельветика, 2019. 300 с.
3. Tang T. Variational Asymptotic Micromechanics Modeling of Composite Materials. Logan: Utah State University, 2008. 280 p.
4. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13023>

До змістового модуля 6

1. Столярова А.В. Ефективні механічні характеристики композиційних матеріалів із транстропними порожнистими волокнами. Херсон: Гельветика, 2021. 104 с.
2. Столярова А. В. Гомогенізація композиційного матеріалу з порожнистими транстропними волокнами. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика». Запорізький національний університет, Запоріжжя, 2021. 138 с. URL: http://phd.znu.edu.ua/page//PhD/stolyarova/3_disertats_ya_stolyarova.pdf
3. Tang T. Variational Asymptotic Micromechanics Modeling of Composite Materials. Logan: Utah State University, 2008. 280 p.
4. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=13023>